

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАМНОЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ УСИЛЕННОЙ КРЕПИ

Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко, Донбасский государственный технический университет, Украина

Выполнен анализ существующих конструкций рамной податливой крепи. Предложена новая крепь КРТУ повышенной несущей способности и податливости с облегченной конструкцией верхняка из коробчатого профиля с элементом усиления. Предложена новая методика определения нагрузки на крепи горных выработок с учетом постадийной работы конструкции и рассчитаны оптимальные параметры крепи КРТУ. Показаны ее технико-экономические преимущества и обоснована возможность замены арочных крепей КМП на новую крепь КРТУ в пластовых подготовительных выработках.

Основным типом крепи, используемой в горной промышленности, является рамная податливая крепь, изготовленная из стального проката. В Украине такой крепью поддерживается свыше 90 % подготовительных выработок и в ближайшей перспективе эта цифра заметно не изменится, поскольку с увеличением глубины разработки и усложнением горно-геологических условий смещения пород контура поддерживаемых выработок резко возрастают, особенно в зоне влияния очистных работ. В таких условиях только податливые конструкции рамных крепей могут обеспечить удовлетворительное эксплуатационное состояние горных выработок.

Подавляющее большинство рамных крепей в настоящее время изготавливают из специального взаимозаменяемого шахтного профиля СВП. В среднем расходуется около 300-350 т металлопроката на каждый километр выработки. При этом возведение крепи, как правило, производят вручную, что при значительных размерах выработки (более 11-12 м²) весьма трудоемко, поскольку масса элемента крепи (верхняка), который необходимо установить на высоте 3,5-4 м, может достигать 140-160 кг. Поэтому так актуальна проблема снижения стоимости и трудоемкости крепления для горнодобывающей промышленности.

Первая стальная рамная крепь из металлопроката, которую начали применять для крепления горных выработок, копировала конструкцию деревянной крепи и представляла собой жесткую раму из двутавра или рельса. Такую крепь выполняли, как правило, трапецевидного очертания (рис. 1 а).

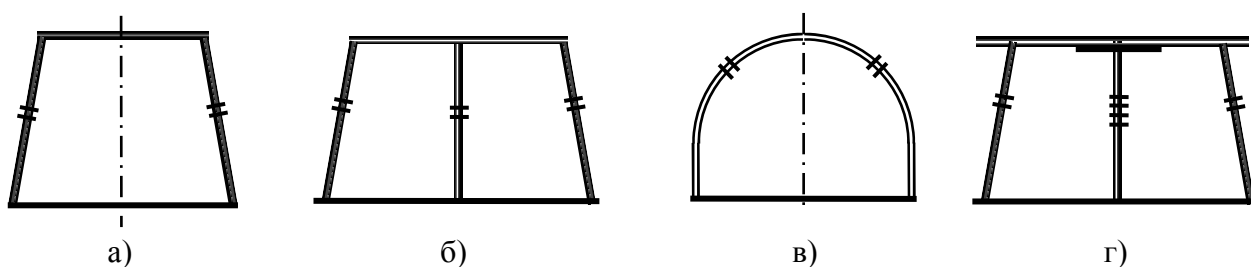


Рис. 1. Ретроспекция изменения формы рамных податливых крепей горных выработок

Однако в условиях значительных смещений породного контура происходили недопустимые деформации крепи (изгиб, потеря общей и местной устойчивости), выход ее из строя и завал выработки. Это поставило задачи по разработке новых конструкций стальных рамных крепей:

- обеспечение податливости рамы,
- создание новых профилей проката для крепи,
- разработка узлов податливости, межрамных ограждений и стяжек,
- усиление верхняка, как наиболее слабого элемента рамы, центральной стойкой

(рис. 1 б),

- изменение формы выработки от трапецеидальной до арочной и круглой (рис. 1 в),
- создание адаптивных конструкций рамы и их приспособление к элементам залегания пласта, их формоизменение в соответствии с формой горного давления (рис. 1 г).

После разработки в Германии желобчатых профилей и их соединений [1], рамная крепь стала податливой и получила возможность «уходить» от горного давления без разрушения, приспособляясь к смещениям породного контура.

Интенсификация горных работ, переход на более глубокие горизонты, возросшее горное давление привели к необходимости проведения горных выработок большей площади поперечного сечения. В таких условиях, при вынужденном увеличении пролета верхняка, трапецевидная крепь (рис. 1 а) не могла обеспечить достаточную несущую способность и нормальное эксплуатационное состояние выработки из-за почти гарантированного разрушения верхняка от высоких изгибающих моментов. Несущая способность верхняка в таких крепях была на порядок меньше несущей способности стоек, т.е. крепь была существенно неравнопрочной. Одним из путей решения возникшей проблемы была попытка снабдить трапецевидную крепь центральной стойкой (рис. 1 б). Хотя удалось существенно повысить несущую способность верхняка (примерно в 3...4 раза) однако этого оказалось недостаточно из-за разрушений верхняка в пролетах между центральной и боковыми стойками, особенно при большой ширине выработки, и деформации самой центральной стойки. Отметим, что центральная стойка создает затруднения в размещении оборудования в выработке.

Следующим этапом развития рамных крепей можно считать создание крепи арочной формы поперечного сечения (рис. 1 в). Такие крепи занимают в настоящее время доминирующее положение почти во всех капитальных и подготовительных выработках. Арочная форма позволяет существенно снизить изгибающие моменты в верхняке при условии тщательной забутовки закрепного пространства по всему периметру крепи.

Однако промышленный опыт использования рамной арочной крепи позволил выявить следующие ее недостатки:

1. Конструкция в целом не отвечает принципу оптимальности [2], различные ее элементы при одинаковых сечениях испытывают крайне неравномерные внутренние усилия.

2. Используемый специальный профиль СВП неэффективен и дорог, поскольку он имеет открытую форму и поэтому подвержен потере местной и общей устойчивости, а также крутильным деформациям при нагрузке [3, 4].

3. Она требует обеспечения равномерности контактного взаимодействия с породным контуром путем создания плотной забутовки, что трудновыполнимо и без чего несущая способность крепи снижается в 5-7 раз из-за недопустимых изгибов ее верхняка и стоек.

4. Узлы податливости несовершенны, не совпадают с основным направлением смещений массива, не обеспечивают необходимого сопротивления и требуемых смещений элементов.

5. Массы элементов и особенно верхняка недопустимо велики, это заметно затрудняет и замедляет возведение, особенно из-за многочисленных резьбовых соединений.

6. Крепь неэффективно работает в подготовительных выработках в зоне влияния очистных работ, особенно на наиболее ответственном участке – на сопряжении с очистным забоем, из-за недостаточной податливости и несущей способности.

Особо следует остановиться на выборе стального проката для элементов крепи. В работах [3, 4] выполнен анализ существующих серийных профилей металлопроката и показано, что наиболее технологичным и эффективным для рамной крепи является замкнутый тонкостенный профиль прямоугольного очертания. Его прочность на изгиб (при условии равенства масс 1 п. м.) выше, чем у стандартных спецпрофилей типа СВП того же сечения в 1,5 – 2 раза, а при кручении – в 16 – 27 раз.

Для устранения указанных недостатков современных рамных крепей нами предложена конструкция (рис. 1 г) крепи рамной трапецевидной усиленной (КРТУ), которая состоит из

двух боковых и центральной стоек из спецпрофиля СВП и верхняка с консолями, выполненного из замкнутого профиля прямоугольного очертания (прямоугольной трубы). При этом центральная стойка имеет повышенное сопротивление податливости, а верхняк в месте соединения с центральной стойкой снабжен элементом усиления. Однако необходимо обосновать эффективные параметры такой крепи – несущую способность, типоразмеры несущих профилей, требуемое сопротивление узлов податливости и т.д.

Цель исследований состоит в изучении особенностей работы КРТУ под действием вертикальной нагрузки. **Объектом** исследований является рамная податливая трапецевидная крепь с верхняком из коробчатого профиля и центральной стойкой с элементом усиления, а **предмет исследований** – конструкция и параметры этой крепи. **Задачами исследований** являются: разработка метода определения и обоснование параметров конструкции КРТУ.

Основная идея исследований состоит в учете особенностей формирования внешней нагрузки на крепь в различных стадиях ее работы и последующем выборе параметров рамной трапецевидной крепи горных выработок.

Для определения параметров КРТУ выполним расчет данной конструкции с использованием метода конечных элементов с помощью программы Лира.

Расчетная схема крепи представлена на рисунке 2. Высота крепи принята $h = 3$ м, возможная величина податливости $\Delta U = 1000 - 1500$ мм. Такие геометрические характеристики позволяют использовать крепь КРТУ в условиях больших смещений пород контура в зоне влияния очистных работ. Площадь поперечного сечения такой крепи $S = 13,5$ м². Угол наклона стоек составляет 80° , длина консолей верхняка принята равной $0,5$ м. Консоли обеспечивают более равномерное распределение нагрузки на верхняк, уменьшение изгибающих моментов и предотвращение просыпания породы с кровли на стойки крепи, особенно в районе сопряжения крепи с лавой.

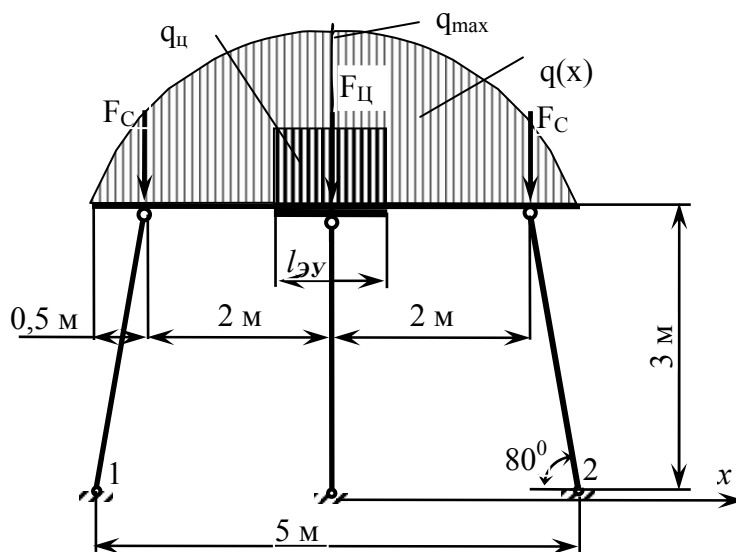


Рис. 2. Расчетная схема крепи КРТУ

Нижние узлы 1, 2 стоек опираются на почву выработки и приняты как неподвижные шарниры. Соединение стоек с верхняком также принято шарнирным. Элемент усиления верхняка имеет длину $l_{\text{цy}}$ и создает на участке усиления повышенный момент инерции J_x и момент сопротивления W_x . Сопротивление узлов податливости крепи принято $N_C = 100$ кН, $N_{\text{ц}} = 2N_C = 200$ кН, т.е. на центральной стойке предусмотрена установка двух стандартных узлов податливости с удвоенным сопротивлением. Такое соотношение позволяет сформировать внешние усилия на крепь при ее работе в режиме податливости в виде равномерно распределенной нагрузки. Величина сопротивления одного узла податливости –

100 кН соответствует средним показателям испытаний серийных узлов. Этот показатель ограничивает сверху допустимую нагрузку на крепь и следует в будущем разработать узлы податливости с повышенным сопротивлением (до 300 кН и более). Предел текучести стали, из которой изготовлены элементы крепи, принят $R_y = 240$ МПа.

Особо следует остановиться на обосновании расчетной схемы, в частности, на выборе распределения и величины внешней нагрузки на крепь. К сожалению, этот важнейший элемент расчетной схемы оказывается за пределами должного внимания проектировщиков и исследователей. Как правило, большинством по умолчанию принимается равномерно распределенная нагрузка со стороны массива горных пород. На самом деле, - и с теоретической точки зрения, и согласно данным многочисленных шахтных замеров, - распределение нагрузки во многом имеет вероятностный характер и варьируется в очень широких пределах, что делает расчеты конструкций крепи малоубедительными и недостаточно оправданными.

Для более достоверного и точного расчета крепи мы рекомендуем следующую методику, основанную на использовании обобщенной функции для описания распределения нагрузки на крепежную раму и выбора параметров функции нагружения с использованием принципа максимального правдоподобия. В настоящий момент нормативный документ, регламентирующий расчеты крепей горных выработок [5], не учитывает возможную неравномерность внешних нагрузок на крепь, по умолчанию считая ее равномерно распределенной. Однако, вероятнее всего, разрушенные породы будут давить на верхняк крепи неравномерно, оказывая максимальное давление в центре выработки, где смещения пород в выработку максимальны, при этом часть нагрузки на крепь будет приложена в виде сосредоточенных сил $\sum F_i$ к узлам крепи, а другая часть – в виде распределенной по некоторому закону нагрузки q , т.е.:

$$Q = (1 - k_q) \cdot \sum (q_i \cdot l_i) + k_q \cdot \sum F_i, \text{ кН} \quad (1)$$

где Q – общая нагрузка на раму крепи; кН

$\sum (q_i \cdot l_i)$ – распределенная нагрузка на крепь, кН;

i – порядковый номер участка на верхняке крепи;

q_i - усредненная распределенная нагрузка на участке l_i ;

$\sum F_i$ – нагрузка на крепь в виде сосредоточенных сил;

k_q – коэффициент неравномерности нагрузки.

Коэффициент неравномерности нагрузки k_q показывает соотношение между распределенной нагрузкой $\sum (q_i \cdot l_i)$ и сосредоточенными силами $\sum F_i$, слагающими в сумме внешнюю нагрузку на крепь Q . При $k_q = 1$ вся нагрузка на крепь передается сосредоточенными силами, при $k_q = 0$ – распределенными. Этот показатель зависит от особенностей взаимодействия крепи с породным контуром, зазоров и контактных условий между крепью и породой, физико-механических свойств вмещающих выработку пород и технологии сооружения выработки.

Значение коэффициента k_q следует определять из шахтных инструментальных измерений или по методу аналогии, используя опыт эксплуатации подобных выработок. Поскольку точное значение коэффициента k_q неизвестно, в расчетах, как наиболее вероятное, можно принять $k_q = 0,5$, а закон распределения сил на верхняке $q(x)$ в общем случае можно описать степенной функцией с максимальным значением q_{\max} в центре верхняка (рис. 2):

$$q(x) = q_{\max} \left(1 - \frac{x^n}{a^n}\right), \quad (2)$$

где x – текущая горизонтальная координата, отсчитанная от центра выработки (рис. 2);

a – половина ширины выработки ($a = 2,5$ м);

n – показатель степени функции распределения нагрузки, характеризует ее равномерность, при $n = 0$ (равномерность нулевая) распределенная нагрузка вырождается в сосредоточенную силу, т.е. крайняя степень неравномерности, при $n \rightarrow \infty$ распределенная нагрузка становится равномерной, а при $n = 2$ нагрузка распределена по квадратичной параболе.

Учитывая теоретические решения горной геомеханики и накопленный опыт управления горным давлением в горных выработках, можно в первом приближении принять при расчетах $n = 2$, имею в виду его уточнение при проведении шахтных инструментальных измерений на различных конструкциях крепи.

Кроме того, элемент усиления верхняка имеет размер $l_{\text{ЭУ}}$, поэтому сосредоточенную силу $F_{\text{Ц0}}$, приложенную в центре верхняка разделим на два слагаемых – сосредоточенную $F_{\text{Ц}}$ и равномерно распределенную $q_{\text{ц}}$ (рис. 2): $F_{\text{Ц0}} = F_{\text{Ц}} + q_{\text{ц}}$. При этом:

$$q_{\text{ц}} = \frac{F_{\text{Ц0}}}{2l_{\text{ЭУ}}}. \quad (3)$$

Крепь перейдет в податливую стадию работы, когда внешняя нагрузка превысит суммарное сопротивление узлов податливости, установленных на стойках. Поэтому в нашей расчетной схеме предельная нагрузка будет составлять $Q = 400$ кН. Исходя из этого, аналитически рассчитаны все параметры внешней нагрузки: $q_{\max} = 60$ кН/м, $F_{\text{Ц0}} = 114$ кН, $F_{\text{Ц}} = 57$ кН, $F_{\text{С}} = 43$ кН, $q_{\text{ц}} = 71,3$ кН/м.

Задачи расчета состояли в получении эпюры изгибающих моментов, определении рациональной длины элемента усиления $l_{\text{ЭУ}}$, подборе прочных размеров несущих элементов верхняка и элемента усиления. Стойки крепи выполнены из спецпрофиля СВП-22. В результате с помощью программы Лира получена следующая эпюра изгибающих моментов (рис. 3).

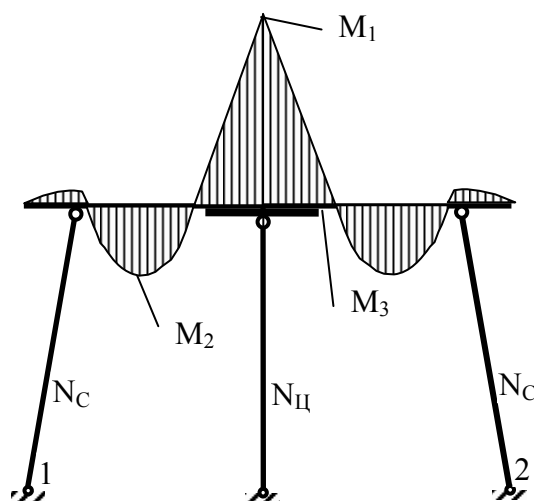


Рис. 3. Эпюра изгибающих моментов

Для расчета прочных размеров элементов верхняка учитывались экстремальные изгибающие моменты: M_1 – в центре верхняка, M_2 – между центральной и боковыми стойками, M_3 – на границе элемента усиления. В результате расчета установлено, что при

такой нагрузке продольное усилие в центральной стойке составило $N_{Ц} = 250$ кН, а в боковых $N_C = 75$ кН. Поскольку, предельно возможное усилие в центральной стойке не может превышать по условию работы податливых узлов $[N_{Ц}] = 200$ кН, необходимо все внешние нагрузки уменьшить в $250/200 = 0,8$ раза и повторить расчет. Это соответствует первому предельному состоянию крепи, т.е. моменту до начала ее перехода в податливую стадию работы. Общая нагрузка на крепь в этот момент равна $Q_1 = 0,8 \cdot Q = 0,8 \cdot 400 = 320$ кН. В результате получены значения изгибающих моментов в характерных точках верхняка: $M_1 = 29$ кН·м, $M_2 = 7,9$ кН·м, $M_3 = 7,3$ кН·м. Отметим, что в стойках данной конструкции крепи моменты равны нулю, т.е. выполняется условие их центрального сжатия. Следующая стадия работы крепи при возрастании нагрузки приводит к образованию пластического шарнира в верхняке, если несущая способность и длина элемента усиления недостаточны. При этом оказалось, что целесообразно так выбрать параметры элемента усиления, чтобы исключить возможность появления пластического шарнира, хотя здесь остается определенный резерв работоспособности крепи, что идет в запас прочности.

В соответствии с расчетами проведено конструирование верхняка. Для его изготовления целесообразно принять несущий профиль – прямоугольную трубу 110x90x3 мм, $W_x = 37,09$ см³, вес одного погонного метра $m = 8,96$ кг.

Длина и жесткость элемента усиления выбиралась из условия восприятия высокого изгибающего момента в центральной части верхняка. Поскольку верхняк в крепи КРТУ является статически неопределимым, с переменными сечением и жесткостью, то рациональную длину элемента усиления рассчитывали методом последовательных приближений и окончательно была принята прямоугольная труба 140x100x5 мм, длиной $l_{ЭУ} = 0,8$ м с характеристиками: $W_x = 86,9$ см³, $m = 17,55$ кг/м.

Тогда общая масса верхняка составит: $5 \cdot 8,96 + 0,8 \cdot 17,55 = 58,85 \approx 60$ кг. Верхняк такой же длины из самого легкого, выпускаемого в настоящее время промышленностью спецпрофиля СВП-22 будет иметь массу $22 \cdot 5 = 110$ кг, т.е. в 1,83 раза больше. При этом необходимо учесть, что максимально допустимый изгибающий момент $[M]$ для профиля СВП-22 составляет около 18 кН·м. Такой верхняк над центральной стойкой будет смят ($M_1 \gg [M]$), а в пролете между центральной и боковой стойками будет иметь излишний запас прочности ($M_2 \ll [M]$).

Дальнейшее увеличение внешней нагрузки приведет к ее перераспределению на недогруженные боковые стойки, поскольку центральная стойка не может воспринимать нагрузку выше предельной для нее $N_{Ц} = 200$ кН. Внешняя нагрузка может расти до момента достижения предельного значения в боковых стойках, когда $N_C = 100$ кН. Таким образом, крепь как бы «сама» формирует на себя распределение внешней нагрузки, «уходя» от горного давления.

При выбранном соотношении сопротивления стоек $N_{Ц} = 2N_C$, внешняя нагрузка примет вид равномерно распределенной. Общая нагрузка на крепь в податливой стадии работы (ее несущая способность P) будет равна сумме сопротивления всех узлов податливости, установленных на стойках, т.е. $P = 400$ кН. При достижении внешней нагрузкой $Q = 400$ кН крепь переходит во второе предельное состояние. Для этого предельного состояния расчеты дают: $M_1 = 26,9$ кН·м, $M_2 = 7,3$ кН·м, $M_3 = 8,85$ кН·м. Как видим, увеличился лишь момент M_3 . Проверим, выдержит ли принятый несущий элемент такой момент: $[M_s] = W_x \cdot R_y = 0,24 \cdot 37,09 = 8,9$ кН·м $> M_3 = 8,85$ кН·м. Элемент устойчив, разрушений не будет.

Проведенные исследования позволяют перейти к оценкам эффективности крепи КРТУ. Для этого выполним сравнительный анализ нескольких типоразмеров арочных металлических податливых крепей и предложенной нами крепи КРТУ. Податливость выбранных для сравнения крепей будем считать одинаковой и равной податливости арочной крепи, а высоту

сравниваемых трапециевидных крепей определим как $h_m = h_n + U$ (h_n – минимальная высота выработки по ПБ, U – податливость арочной крепи). Типоразмер профиля верхняка и элемента усиления трапециевидной крепи примем согласно представленным выше расчетам. Однако необходимо иметь в виду, что для трапециевидных крепей меньшего поперечного сечения, чем рассчитанного в примере, несущие профили скорее всего будут также меньшие и оценка эффективности крепи КРТУ на самом деле будет значительно выше.

Для сравнения различных конструкций крепи целесообразно ввести параметр работоспособности Π_w , который позволяет учитывать в обобщенном виде особенности деформационно-силовой ее характеристики, – величину несущей способности P , кН и конструктивной податливости $U, м$, отнесенные к общей массе крепи m , кг :

$$\Pi_w = \frac{P \cdot U}{m}, \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{кг}} \quad (4)$$

Чем выше параметр работоспособности крепи Π_w , тем более рационально используется металл в ее конструкции, тем она эффективнее. Физический смысл этого показателя состоит в том, что он одновременно отражает главные параметры конструкции при ее взаимодействии с массивом, т.е. несущую способность и деформируемость в податливом режиме, которые надо максимизировать. С другой стороны, в показателе Π_w учтен расход материала в конструкции, причем крепь тем эффективней, чем меньше ее масса. Удобство практического применения показателя Π_w для крепи разных конструкций состоит в том, что входящие в него параметры легко определяются из испытаний крепи или ее расчета.

Анализ выбранных конструкций крепи представлен в таблице 1.

Табл. 1. Сравнительный анализ арочной податливой КМП-А3 и трапециевидной усиленной крепи КРТУ

Наименование показателя	I		II		III	
	КМП-А3	КРТУ	КМП-А3	КРТУ	КМП-А3	КРТУ
Ширина выработки, мм	3570	3570	4750	4750	5200	5200
Высота выработки, мм	3010	2410	3440	2450	3550	2450
Площадь поперечного сечения в свету, м ²	8,5	7,58	12,8	10,57	15,3	11,7
Масса несущих элементов крепи, кг	190	232	278	247	397	251
Масса одного элемента верхняк/стойка, кг	60,2/65	46/65	116/81	57/66	159/99	61/66
Несущая способность P , кН	260	400	290	400	320	400
Податливость крепи U , мм	360	360	400	400	400	400
Параметр работоспособности Π_w	0,49	0,62	0,42	0,65	0,32	0,64
Преимущество крепи КРТУ, %	127		155		200	

Проведенные сравнительные расчеты по оценке технических параметров арочной крепи КМП и трапециевидной крепи КРТУ позволяют подтвердить явное преимущество последней. Так, за счет того, что верхняк крепи выполнен из коробчатого профиля с элементом усиления в центре над центральной стойкой, распределение нагрузки на крепь оказывается более рациональным и почти равным равномерно распределенному. При этом крепь работает в податливом режиме с постоянным сопротивлением, что недостижимо, по сути, для арочной податливой крепи. Более того, если максимальная податливость арочной крепи не превышает 400 мм, то в крепи КРТУ она достигает 1200 мм при сохранении всех технологических и транспортных зазоров, предусмотренных ПБ.

Особенно важен при сравнении крепей параметр их работоспособности Π_w , поскольку он

характеризует эффективность и целесообразность использования стального проката в крепи. Расчетами достоверно установлено, что весь типоразмерный ряд крепей КМП значительно уступает по этому показателю новой крепи КРТУ. Соотношение параметров работоспособности для сравниваемых конструкций изменяется от 127% для выработок малого сечения до 200 и более % для выработок большого сечения, которые становятся превалирующими на современных шахтах.

В заключение отметим основные технические и деформационно-силовые показатели крепи КРТУ. В первую очередь следует обратить внимание на ее значительное преимущество по сравнению с арочными крепями КМП почти по всем конструктивным показателям: по несущей способности (больше на 125-150 %), по площади поперечного сечения (меньше на 115...130 %), по высоте выработки (меньше на 125...145 %), по массе верхняка (меньше на 135...260 %). Запас вертикальной податливости крепи можно увеличить до 1500 мм и более, что выше податливости арочной крепи почти в 4 раза.

Кроме того, сравнивая крепи КМП и КРТУ по технологическим параметрам, можно указать на снижение трудоемкости и длительности возведения крепи за счет полной заводской готовности всех элементов, элементы крепи имеют небольшую массу, все стойки поставляются с установленными и отрегулированными на заводе узлами податливости (что невозможно для арочной крепи), а при возведении происходит простая стыковка элементов и их расклинка в кровлю и почву, причем исключены трудоемкие работы по установке резьбовых соединений и забутовке закрепного пространства.

Анализируя процесс взаимодействия крепи КРТУ с окружающим массивом горных пород, можно заключить, что крепь, переходя в податливый режим работы, формирует не только верхний предел суммарной нагрузки со стороны кровли, но и особенности ее распределения за счет конструктивного назначения высокого сопротивления податливости центральной стойки и повышенной жесткости элемента усиления. С позиций горной геомеханики главной особенностью такого управления нагрузкой на крепь является создание преобладающего отпора крепи в центре пролета верхняка за счет центральной стойки повышенного сопротивления и передачи этого отпора непосредственно на почву, минуя большую часть длины верхняка. Такое конструктивное решение оказывает крайне благоприятное воздействие на деформационное поведение слоистых пород плоской кровли и почвы. Последние, подвергаясь разрушительному воздействию концентрации напряжений вокруг горной выработки, стремятся переместиться внутрь нее с характерной волнообразной формой продольно-поперечного изгиба и потери устойчивости слоев [6]. Установленный в центре выработки верхняк создает мощный отпор и способен в значительной части или даже полностью предотвратить такую крайне неблагоприятную форму проявления горного давления, которая превалирует на больших глубинах и, особенно, в зоне вредного влияния очистных работ - выпучивание слоев пород в выработку со стороны кровли и почвы. Таким образом, в отличие от арочных крепей, которые оказываются неэффективными для предотвращения выдавливания пород, особенно со стороны почвы, крепь КРТУ оказывает мощное противодействие потере устойчивости слоев горных пород своей центральной стойкой, выполняющей функцию податливого распора и предотвращающей конвергенцию кровли и почвы.

Такие преимущества крепи КРТУ позволяют вполне обоснованно утверждать о возможности замены крепи арочной и криволинейной формы на трапециевидную крепь КРТУ под плоскую кровлю в пластовых подготовительных выработках. Это подтверждается также тем, что в новой крепи можно создать большой запас вертикальной податливости (до 1200-1500 мм) без нарушения ее работы в штатном режиме и снижения несущей способности рамы в целом в процессе податливости, что невозможно в арочных крепях. Особенно привлекательным для производителей свойством крепи является удобство ее использования на сопряжении лавы с подготовительной выработкой, когда необходимо снимать стойку со стороны лавы и подхватывать верхняк прогоном, для чего можно использовать консоль верхняка со стороны лавы. В добавок к этому следует указать на возможность существенного сокращения затрат при поддержании выработок после прохода лавы с целью их повторного использования ввиду большого запаса податливости крепи КРТУ. В задачи дальнейших исследований входят шахтные

промышленные испытания крепи КРТУ в сложных горно-геологических условиях больших глубин разработки на шахтах Донбасса.

Выводы

1. На основе анализа существующих конструкций стальной рамной крепи с учетом соблюдения принципа оптимальности, эффективности работы профиля элементов, особенностей контактного взаимодействия с массивом и работы в условиях больших смещений и нагрузок выявлены их основные недостатки и сформулированы основные задачи исследования по разработке метода определения и обоснованию параметров конструкции новой крепи КРТУ.

2. Предложена крепь КРТУ (крепь рамная трапецевидная усиленная), отличающаяся облегченной конструкцией верхняка из коробчатого профиля с консолями и элементом усиления оптимальной длины над центральной стойкой повышенного сопротивления податливости.

3. Выбрана и обоснована расчетная схема рамных крепей, разработана методика определения обобщенной нагрузки на крепь со стороны массива, отличающаяся наиболее общим возможным сочетанием с помощью коэффициента неравномерности нагрузки сосредоточенных сил и по степенному закону неравномерно распределенной нагрузки.

4. Разработана методика расчета крепи КРТУ, отличающаяся учетом постадийного режима взаимодействия крепи и массива при возрастании нагрузки начиная от упругой стадии через поочередный или одновременный переход стоек в режим податливого сопротивления к стадиям образования и работы пластических шарниров на участках с наибольшими изгибающими моментами.

5. С помощью программы «Ли́ра» исследованы и обоснованы наиболее рациональные конструктивные параметры крепи КРТУ в целом и отдельных ее элементов, обоснована жесткость и целесообразная длина элемента усиления и показано, что общая несущая способность крепи составляет для существующих узлов податливости 400 кН при конвергенции кровли и почвы от 400 до 1500 мм.

6. На основе сравнительных исследований и сопоставления технических показателей крепей КМП и КРТУ показаны преимущества новой крепи по несущей способности на 125...150 %, по площади поперечного сечения на 115...130 %, по высоте выработки на 125...145 %, по массе верхняка на 135...260 % и по параметру работоспособности до 200%.

7. Обоснована техническая возможность и экономическая целесообразность замены в пластовых подготовительных выработках арочной крепи КМП на трапецевидную крепь КРТУ, особенно в зоне вредного влияния очистных работ и в сложных горно-геологических условиях больших глубин разработки.

Список литературы

1. Литвинский Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок/ Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. - Київ: Техніка, 1999. – 216 с.

2. Литвинский Г.Г. Исследование предельных состояний рамной крепи / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – №3. – С. 26 – 33.

3. Литвинский Г.Г. Исследование эффективности прокатных профилей для рамной крепи горных выработок / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Уголь Украины. – 2012. – №11. – С. 11 – 14.

4. Литвинский Г.Г. Оптимальный прокатный профиль для рамной крепи / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – Вып. 1(32). – С. 198 – 203.

5. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. — Прийнято та надано чинності: наказ Мінвуглепрому України від 09.01.07 № 494. — К.: Мінвуглепром України, 2007. — 113 с.

6. Шашенко А.Н. Моделирование процесса пучения пород почвы в подземных выработках / А.Н. Шашенко, М.Е. Каганов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1990. – №11. – С. 21-26.